

УДК 629.3.02

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АК8

Нуманов А.Р.

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,  
Санкт-Петербург, Россия

Получена зависимость, описывающая влияние продольной подачи и радиуса при вершине инструмента на среднее арифметическое отклонение неровностей профиля  $R_a$  при точении сплава АК8. Статистический анализ полученной модели с использованием критериев Кохрена, Стьюдента и Фишера показал пригодность полученной модели с 95 % вероятностью предсказывать результаты эксперимента.

**Ключевые слова:** алюминиевый сплав, шероховатость поверхности, технологическое обеспечение, планирование эксперимента, статистический анализ.

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2017-03-02-142-146

### Введение

Обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин и их соединений связано с обеспечением требуемых параметров шероховатости их рабочих поверхностей. Для решения этой задачи (обеспечения требуемой шероховатости в процессе обработки) необходимо установить взаимосвязь между геометрическими характеристиками поверхности и условиями их обработки.

Анализируя литературные данные [1-4] можно отметить, что наибольшее влияние на характеристики шероховатости поверхности оказывают радиус при вершине инструмента и подача. Рассматривая обработанную поверхность как след движения резца, была предложена формула по определению высоты неровностей профиля  $H$ , исходя из чисто геометрических соображений [5]:

$$H = \frac{S^2}{8r},$$

где  $S$  - продольная подача резца, мм/об;  $r$  - радиус при вершине, мм.

Величина высоты неровностей профиля, определённая по данной формуле, будет несколько отличаться от действительной, так как она не учитывает целый ряд факторов (деформации поверхностного слоя, вибрации и др.), влияющих на образование шероховатости.

При современном представлении о выборе параметров описания профиля шероховатой поверхности [2-4], можно применить следующую систему параметров:  $R_a$ ,  $R_q$ ,  $S_m$ ,  $S$ ,  $t_p$ . В первом приближении достаточно  $R_a$  и  $S_m$ .

Целью работы является получение зависимости, описывающей влияние продольной подачи и радиуса при вершине инструмента на среднеарифметическое отклонение неровностей профиля  $R_a$  вида

$$R_a = f(S, r)$$

для последующего анализа связей неровностей с эксплуатационными показателями  $S$  и  $r$ .

### 1. Характеристика использованных материалов, оборудования и инструмента

Характеристика обрабатываемого материала:

- алюминиевый сплав АК8 ГОСТ4784-97;
- предел прочности: 460 МПа;
- твердость по шкале Бринелля: 130 НВ.

Характеристика использованного станочного оборудования:

- токарно-винторезный станок модели 16К20;
- высота центров: 200 мм;
- диапазон частоты вращения шпинделя: 12,5...1600 об/мин;
- диапазон подач суппорта станка: 0,05...0,8 мм/об;
- мощность электродвигателя: 10 кВт;
- техническое состояние: среднее.

Характеристика режущего инструмента:

- резец токарный, проходной;
- поперечное сечение державки  $b \times h = 16 \times 25$  мм;
- материал режущей части: сплав ВК8;
- главный передний угол  $\gamma = 8^\circ$ ;
- главный задний угол  $\alpha = 8^\circ$ ;
- главный угол в плане  $\phi = 45^\circ$ ;
- вспомогательный угол в плане  $\phi' = 45^\circ$ .

Для контроля твердости заготовки использовался твердомер динамический ТЭМП-2У производства НПП «Технотест» (Россия), протестированный с помощью образцовых мер твердости МТБ ГОСТ9031-78. Характеристики портативного твердомера «ТЭМП-2У»:

- диапазоны измерения твердости по шкалам

Роквелла: 22...68 HRC,  
Бринелля: 100...450 HB,  
Виккерса: 100...950 HV,  
Шора: 22...99 HSD;

- время одного измерения: 1,0 с;

- относительная погрешность показаний твердомера: ±5 %.

Шероховатость поверхности контролировалась аттестованным портативным профилометром модели SURFTESTSJ-210 производства «Mitutoyo» (Япония). Основные характеристики портативного профилометра SURFTESTSJ-210:

- цифровой фильтр: фильтр Гусса, 2CR75, PC75;

- длина сечения

$\lambda_c = 0,08\text{ мм}; 0,25\text{ мм}; 0,8\text{ мм}; 2,5\text{ мм},$

$\lambda_s = 2,5\text{ мкм}; 8\text{ мкм};$

- базовая длина: 0,8 мм; 0,25 мм; 0,8 мм; 2,5 мм;

- число базовых длин: 1...10;

- параметры вычисления:  $R_a, R_q, R_z, R_p, R_{max}$  и др.

## 2. Краткая характеристика метода исследования

Один из методов получения информации о закономерностях, присущих процессу обработки, является активный эксперимент [3, 6-8]. В теории эксперимента математическое описание чаще всего представляется в виде полинома путем разложения его в ряд Тейлора. Математической моделью рассматриваемого процесса является функция

$$y = f(x_1, x_2).$$

Форма связи между рассматриваемыми параметрами может быть представлена в виде

$$R_a = C S^m r^n, \quad (1)$$

где  $R_a$  – среднее арифметическое отклонение неровностей профиля;  $C$  – постоянный коэффициент;  $S$  – подача;  $r$  – радиус при вершине резца;  $m, n$  – показатели степени влияния  $S$  и  $r$  на величину  $R_a$ .

Для замены нелинейной зависимости линейной произведено логарифмирование. После логарифмирования обеих частей

$$\ln R_a = \ln C + m \ln S + n \ln r.$$

Введя соответствующие обозначения, получим уравнение:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2, \quad (2)$$

где  $y = \ln R_a$ ;  $x_1, x_2, b_0$  – логарифмы соответственно  $S, r, C$ ;  $b_1, b_2$  – показатели степени  $m$  и  $n$ .

## 3. Эксперимент и обработка его результатов

Задача заключается в экспериментальном получении линейной аппроксимации уравнения (1) с использованием статистического метода планирования эксперимента при минимальном количестве опытов. Уровни факторов и интервалы варьирования после логарифмирования приведены в табл. 1.

Для упрощения расчетов использовано кодирование факторов при помощи уравнений преобразования

$$x_1 = \frac{2(\ln S - \ln S_{\max})}{\ln S_{\max} - \ln S_{\min}} + 1;$$

$$x_2 = \frac{2(\ln r - \ln r_{\max})}{\ln r_{\max} - \ln r_{\min}} + 1, \quad (3)$$

т.е. за единицу подачи принята величина  $(\ln 0,46 - \ln 0,19) : 2$ , а за единицу радиуса при вершине  $(\ln 2 - \ln 0,5) : 2$ . Таким образом, подача и радиус при вершине преобразуются путем их деления на принятые единицы.

Для упрощения расчетов использовано кодирование факторов при помощи уравнений преобразования

Таблица 1

Уровни факторов

Факторы	Уровни факторов		Интервал варьирования
	Верхний	Нижний	
$S / \ln S$	0,46 / -0,7766	0,19 / -1,6608	0,125 / -2,0795
$R / \ln r$	2 / +0,6931	0,5 / -0,6932	0,75 / -02883

$$x_1 = \frac{2(\ln S - \ln S_{\max})}{\ln S_{\max} - \ln S_{\min}} + 1;$$

$$x_2 = \frac{2(\ln r - \ln r_{\max})}{\ln r_{\max} - \ln r_{\min}} + 1, \quad (3)$$

т.е. за единицу подачи принята величина  $(\ln 0,46 - \ln 0,19) : 2$ , а за единицу радиуса при

вершине  $(\ln 2 - \ln 0,5) : 2$ . Таким образом, подача и радиус при вершине преобразуются путем их деления на принятые единицы.

Результаты опытов и матрица планирования приведены в табл. 2.

Таблица 2

Матрица планирования

Номер опыта	Случайный порядок реализации	$x_0$	$x_1$		$x_2$		$R_a, \text{мкм}$	$\bar{R}_a, \text{мкм}$	$\bar{y} = \ln \bar{R}_a$
		код	код	$S, \text{мм/об}$	код	$r, \text{мм}$	Повторные опыты	Средний результат	
1	2						2,101	2,06	0,7227
	9	+1	+1	0,46	+1	2	2,151		
	4						1,913		
2	6						0,567	0,58	-0,5448
	1	+1	-1	0,19	+1	2	0,586		
	8						0,591		
3	3						10,305	10,32	2,3032
	12	+1	+1	0,46	-1	0,5	10,303		
	5						10,347		
4	7						2,030	2,15	0,7654
	11	+1	-1	0,19	-1	0,5	1,939		
	10						2,076		

\* - фиктивная переменная  $x_0 = +1$

С учетом выполненных преобразований общий вид функции отклика

$$\bar{y} = a_0 = a_1x_1 + a_2x_2.$$

После определения коэффициентов регрессии получаем

$$\bar{y} = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 = 0,81 + 0,7013x_1 - 0,72x_2.$$

Статистический анализ полученной модели состоял из оценки дисперсии воспроизводимости, проверки значимости коэффициентов уравнения и проверки адекватности модели. Так как во всех точках одинаковое число повторных опытов, то для оценки дисперсии воспроизводимости был использован критерий Кохрена.

Критерий Кохрена  $G$  - отношение наибольшей дисперсии, полученной в опытах, к сумме дисперсий всех опытов

$$G = \frac{\max S_i^2}{\sum_i S_i^2},$$

где  $k$  - число опытов в эксперименте.

Так как  $G_{кр} > G$  то гипотеза об однородности дисперсий принимается.

Проверка значимости коэффициентов модели произведена с помощью  $t$ -критерия Стьюдента, представляющего собой отношение абсолютной величины оцениваемого коэффициента  $a_i$  к величине его квадратичной ошибки  $S_{(ai)}$ :

$$t = \frac{|a_i|}{S_{(ai)}},$$

где  $a_i$  - значения коэффициентов  $a_0, a_1, a_2$ .

Так как  $t_i > t_{кр}$ , то коэффициент  $a_i$  признается значимым. В нашем случае коэффициенты  $a_0, a_1, a_2$  - значимы.

Математическая модель в виде уравнения связи выходного параметра и переменных, включающая только значимые коэффициенты, принимает вид:

$$\hat{y} = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 = 0,81 + 0,70x_1 - 0,72x_2, \quad (4)$$

Найденное уравнение необходимо проверить на адекватность исследуемому объекту, т.е. установить, насколько хорошо оно предсказывает данные, получаемые в ходе эксперимента.

Пригодность уравнения предсказывать результаты эксперимента в рассматриваемой области с требуемой точностью проверяется путем расчета критерия Фишера ( $F$ -критерия):

$$F = \frac{S^2_{(a)}}{S^2_{(y)}},$$

где  $S^2_{(a)}$  – дисперсия адекватности;  $S^2_{(y)}$  – дисперсия воспроизводимости.

Так как в нашем случае  $F_{табл} = 5,3$ , а найденное  $F = 0,1086$  – уравнение (4) признается адекватным функции отклика.

Уравнение в преобразованных переменных  $x_i$  имеет вид

$$\hat{y} = 0,81 + 0,70x_1 - 0,72x_2.$$

Для получения уравнения в натуральных значениях факторов подставляем их значения из формул преобразования (3) и производим потенцирование. После потенцирования получаем

$$R_a = e^{2,68} S^{1,55} r^{-1,04}.$$

#### Заключение

1. Получена зависимость, описывающая влияние продольной подачи и радиуса при вершине инструмента на среднее арифметическое отклонение неровностей профиля  $R_a$  при точении алюминиевого сплава АК8, которую можно использовать для последующего анализа связи неровностей с эксплуатационными показателями.

2. Статистический анализ полученной модели с использованием критериев Кохрена (оценка дисперсии воспроизводимости), Стьюдента (значимость коэффициентов модели) и Фишера (адекватность функции отклика) показал пригодность полученной модели с 95 % вероятностью предсказывать результаты эксперимента.

#### Список литературы

1. Верещака, А.С. Резание материалов / А.С. Верещака, В.С. Кушнер. – М.: Высш. шк., 2009. – 553 с.
2. Макаров, А.Д. Оптимизация процесса резания / А.Д.Макаров. – М.: Машиностроение, 1976. – 278 с.
3. Грановский, Г.И. Резание металлов / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский. – М.: Высш. шк., 1985. – 340 с.
4. Иванов, И.А. Анализ режимов восстановления профиля поверхности катания колесных пар на основе различных методов расчета / И.А. Иванов, А.Н. Воробьев, Д.А. Потахов // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. - 2013. - №3 (23). – С. 41-47.
5. Соколовский, А.П. Научные основы технологии машиностроения / А.П. Соколовский. - М–Л.: Машгиз, 1955. – 51 с.
6. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Марков, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
7. Кацев, П.Г. Статистические методы исследования режущего инструмента / П.Г. Кацевю – М.: Машиностроение, 1974. – 156 с.
8. Налимов, В.В. Статистические методы планирования экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. – М.: Наука 1965. – 340 с.
9. Иванов, И.А. Обработка металлов резанием / И.А. Иванов, С.В. Урушев, А.Ф. Богданов, А.М. Будюкин, А.А. Эстлинг. – СПб.: ПГУПС, 2003. – 121 с.

#### Сведение об авторе

Нуманов Алишер Рустамович – магистрант кафедры «Технология металлов» ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», [alisher.4999@mail.ru](mailto:alisher.4999@mail.ru).

## TECHNOLOGICAL SUPPORT OF GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF ALUMINUM ALLOY AK8 SURFACE

Numanov A.R.

St. Petersburg State University of Railway Transport Emperor Alexander I,  
St. Petersburg, Russian Federation

A dependence describing the influence of the longitudinal feed and radius at the tool tip on the arithmetic average deviation of the roughness of the profile Ra during the rotation of the AK8 alloy is obtained. Statistical analysis of the obtained model using the Cochran, Student and Fisher criteria showed the suitability of the obtained model with a 95% probability of predicting the results of the experiment.

**Keywords:** Aluminum alloy, surface roughness, technological support, experiment planning, statistical analysis.

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2017-03-02-142-146

### References

1. Vereshchaka A.S., Kushner V.S. *Rezanie materialov* [Cutting of materials]. Moscow, Vysshaya shkola, 2009. 553 p. (in Russian)

2. Makarov A.D. *Optimizatsiya protsessov rezaniya* [Optimization of the cutting process]. Moscow, Mashinostroenie, 1976. 278 p. (in Russian)

3. Granovskiy G.I., Granovskiy V.G. *Rezanie metallov* [Cutting of metals]. Moscow, Vysshaya shkola, 1985. 340 p. (in Russian)

4. Ivanov I.A., Vorobev A.N., Potakhov D.A. Analysis of regimes for the recovery of the rolling surface profile of wheel pairs on the basis of various calculation methods. *Vestnik Instituta problem estestvennykh monopoliy: Tekhnika zheleznykh dorog*, 2013, No. 3 (23), pp. 41-47. (in Russian)

5. Sokolovskiy A.P. *Nauchnye osnovy tekhnologii mashinostroeniya* [Scientific foundations of engineering technology]. Moscow-Leningrad, Mashgiz, 1955. 515 p. (in Russian)

6. Adler Yu.P., Markov E.V., Granovskiy Yu.V. *Planirovanie eksperimenta pri poiske op-*

*timalnykh usloviy* [Planning an experiment in the search for optimal conditions]. Moscow, Nauka, 1976. 279 p. (in Russian)

7. Katsev P.G. *Statisticheskie metody issledovaniya rezhushchego instrumenta* [Statistical methods for studying the cutting tool]. Moscow, Mashinostroenie, 1974. 156 p. (in Russian)

8. Nalimov V.V., Chernova N.A. *Statisticheskie metody planirovaniya eksperimentov* [Statistical methods for planning experiments]. Moscow, Nauka, 1965. 340 p. (in Russian)

9/ Ivanov I.A., Urushev S.V., Bogdanov A.F., Budyukin A.M., Estling A.A. *Obrabotka metallov rezaniyem* [Processing of metals by cutting]. St. Petersburg, Petersburg State Transport University, 2003. 121p. (in Russian)

### Author' information

Alisher R. Numanov – master of the chair «Metal technology» at St. Petersburg State University of Railway Transport Emperor Alexander I, [alisher.4999@mail.ru](mailto:alisher.4999@mail.ru).

Дата публикации  
(Date of publication):  
25.06.2017

